

高速道路工事規制区間における運転者の前方不注視と走行環境・車両挙動との関連性分析*

Analysis of the Relationship between Driver's Distracted and the Driving Environment, the Vehicles Behavior at the Work Zone of Expressway*

飯田克弘**・小川清香***・Dao QuynhAnh***

By Katsuhiro Iida**・Sayaka Ogawa***・QuynhAnh DAO***

1. はじめに

近年、高速道路の老朽化が進み、維持管理のための補修・補強工事が必要不可欠となっている。一般的に交通量の多い路線では車線規制を伴う集中工事方式が採用されているが、それらの工事により発生する交通円滑性および安全性低下の問題が懸念されている。

交通円滑性低下に対しては、工事前の各種メディアを用いたPR、渋滞予測広報等の情報提供の強化により、発生トリップの抑制や交通の迂回といった利用者の交通需要そのものの抑制効果が報告されている¹⁾。また、交通容量低下そのものに対する対策として、道路管理者による工事規制方式の見直しが始められている²⁾。さらに、ペースカーの運用方法やラバーコーンの配置方法の検討に関する研究³⁾⁴⁾のほか、工事規制の開始位置と交通容量の関係に着目した研究⁵⁾などが見られ、工事運用方法や規制方式を工夫することで交通容量を増加させようとする研究が立ち上がりつつある。

一方で、安全性低下に対する対策としては、工事予告標識や渋滞情報板の設置のほか、注意喚起標識および渋滞末尾警戒標識車両、LED点滅灯の設置など様々な安全対策施設が見られる。これらの多くは過去の集中工事にて事故が多発した箇所を重点的に対象としたものであるが、一般的な交通事故原因のほとんどが運転者の行動によって占められている⁶⁾ことから、適切な対策を施すためにはまず、工事規制区間における運転者挙動を把握することが必要である。しかしながら、そのような内容を取り扱った研究は希少であり、工事規制区間の走行環境が運転者に与える影響については未解明な部分が多い。

以上の背景から本研究では、集中工事中の交通事故の原因として最も多い前方不注視に着目し、高速道路工事規制区間における運転者の前方不注視と工事規制区間の走行環境、および車両挙動との関連性を把握することを目的とした。なお、前方不注視は内在的不注視（漫然運転）と外在的前方不注視（脇見運転）に大別される。本研究は、この

2 種類の前方不注視をそれぞれ個別に取り扱った。

2. 現場走行実験概要

上記目的遂行のために現場走行実験を行い、工事規制区間を走行する被験者の各種視線データと、被験者運転車両の速度・加速度などの運行状況に関する車両データを取得した。なお、視線データの取得にはナック社製のアイマーカーレコーダ EMR-8 を、車両データの取得にはデータテック社製のセイフティレコーダ SRcomm を使用した。

実験は、2007 年度名神高速道路集中工事のうちの 2 日（5/23、5/24）の期間で実施した。走行区間は名神高速道路上り線京都南 IC（487.4kp）から京都東 IC（478.0kp）の区間で、被験者は運転免許取得後 1 年以上の男女 17 名（社会人 5 名、学生 12 名）で、このうちデータの欠損などにより有効サンプルは 12 名となった。

走行区間の概略図を図-1 に示す。図に示す通り走行区間全てにわたり追越車線規制がされているため、走行車線を走行した。なお、今後特に断りがない場合、実際に工事作業が行われている区間を工事区間、車線規制のみで作業が行われていない区間を空規制区間と記述する。走行区間では 2 種類の工事が実施されていたため、これらの工事区間、空規制区間を区別するべく以下のように区間を定義した。

- ・工事 A：橋梁床版補強工事作業区間（487.2kp～484.8kp）
- ・空規制①：1 つ目の空規制区間（484.8kp～482.2kp）
- ・工事 B：舗装補修工事作業区間（482.2kp～481.6kp）
- ・空規制②：2 つ目の空規制区間（481.6kp～478.3kp）

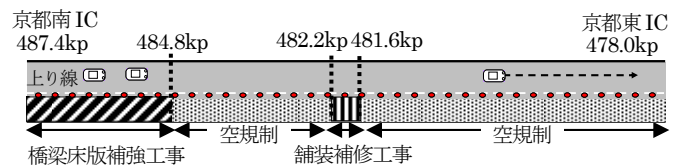


図-1 走行区間概略図

3. 内在的前方不注視について

(1) 分析方針

内在的前方不注視については、覚醒水準の考えを用いて捉えることとした。図-2 に分析フローを示す。

*Keywords：工事渋滞，集中工事

** 正員，博士(工)，大阪大学大学院工学研究科

〒565-0871 吹田市山田丘 2-1, TEL/FAX：06-6879-7611/7612

*** 正員，修士(工)，中日本高速道路株式会社金沢支社

*** 学正員，東京大学大学院工学系研究科

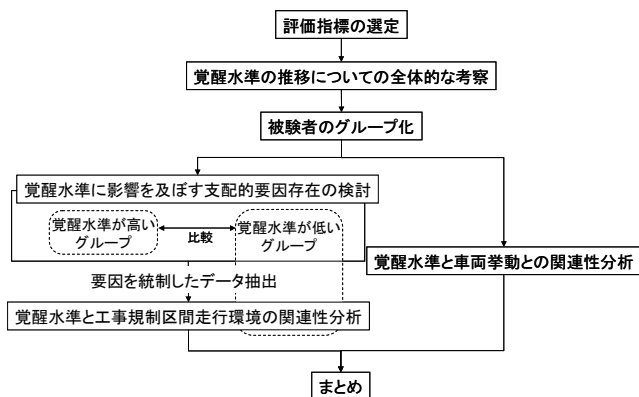


図-2 内在的前方不注視分析フロー

(2) 評価指標の選定

覚醒水準とは大脳皮質の活動レベルを示し、内面的・外面的要因により常に変動している。覚醒水準が極端に低下した状態が睡眠である⁷⁾。この覚醒水準の計測方法として、様々な方法が挙げられるが、今回は瞬目の計測による方法を採用した。この方法は簡易な装置で時系列的に計測でき、運転者への負担が少ない⁸⁾。また、瞬目は比較的覚醒水準低下の早期検知の可能性が高い方法とされている⁹⁾¹⁰⁾。本研究で行った実験では、15～20分程度の走行であり、極端な覚醒水準低下が起こる可能性は低いと考えられる。以上より瞬目による評価が適切であると考えた。なお、覚醒水準が低下すると瞬目回数が増加するとされているので、本研究でもその考えのもと分析を行った。ここで、瞬目には個人差があるため、評価指標には各被験者の基準瞬目回数を用いて基準化した瞬目率を使用した。以下に定義を示す。

- ・基準瞬目回数(回/30秒)：本線合流前ランプ部の瞬目回数を30秒間に換算した回数
- ・瞬目回数(回/30秒)：走行中30秒間における瞬目回数
- ・瞬目率：(瞬目回数) / (基準瞬目回数)

(3) 覚醒水準の推移についての全体的な考察

図3に上り線の瞬目率の推移グラフを示す。このグラフは、30秒毎の瞬目率をその間に走行した区間の中央値にプロットしたものである。

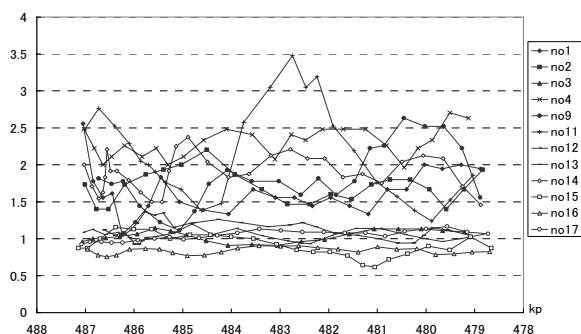


図-3 瞬目率の推移 (3項移動平均)

この図から瞬目率が常に1付近で推移しておりあまり変化が見られない被験者と瞬目率が1から大きくはなれた状態

で大きな変動をしながら推移している被験者が存在していることが見てとれる。よってこれらの被験者を分類することとした。

(4) 被験者のグループ化

3. (3) より、覚醒水準の程度と変動の大きさの違いにより被験者をグループ化した。方法として、瞬目率の平均値と標準偏差を分類基準として用いてクラスター分析（ウォード法）を行った。その結果を図-4に示す。この図の中で、瞬目率が1付近に分布しておりばらつきが小さいクラスターを覚醒水準が平常通りのグループとしてグループ1、それ以外のクラスターを覚醒水準が平常よりも低下しているグループとしてグループ2と定義した。

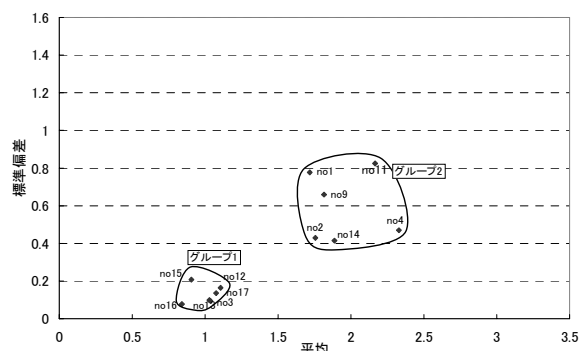


図-4 瞬目率のクラスター分析結果

(5) 覚醒水準に影響を及ぼす支配的要因存在の検討

3. (4) におけるグループ形成に関して、覚醒水準の程度に影響を及ぼす支配的要因が存在するならば、それを統制した上で覚醒水準と走行環境との関係について検討すべきである。よって、まずはその要因の存在の可能性を探った。方法としては、要因になり得ると考えられる候補を挙げ、グループ1-2間でその要因候補の状況を比較した。

要因候補として、時間帯および追従状態を検討したが、本稿では差が見られた追従状態の比較結果を示す。なお、この分析には以下のように定義したものをを用いた。

- ・追従状態：前方車両との車頭時間が4秒以下⁶⁾での走行
- ・追従率(%)：(追従状態時間の合計) / (全走行時間) * 100

表-1にグループ別の追従率を示す。これから、グループ2のほうが高い追従率であることが分かる。

表-1 グループ別追従率(%)

グループ1		グループ2	
被験者	追従率	被験者	追従率
No.3	59.6	No.1	86.9
No.12	52.2	No.2	84.1
No.13	67.9	No.4	64.1
No.15	58.9	No.9	100
No.16	97.4	No.11	83.2
No.17	91.2	No.14	100
グループ平均	71.2	グループ平均	86.4

ここでグループ1-2間の追従率の平均値の差の検定（Wilcoxonの順位和検定）を行ったところ、有意確率0.149

となり一概に差がないとは判断し難い結果となった。

(6) 要因を統制したデータ抽出

3. (5) において、追従状態が支配的要因と考えられる結果となったため、それらを統制したデータを抽出した。具体的には、覚醒水準が低下しているグループ2に着目し、追従状態である場面のみを抽出した。本来は、追従状態でない場面と比較して検討すべきであるが、今回その場面が少ないことから、十分なサンプル数が得られないため、追従状態のみに絞って分析を行った。

(7) 覚醒水準と工事規制区間走行環境との関連性分析

3. (6) で抽出したデータを用いて、2. で定義した区間別の瞬目率平均値を算出した(表-2)。これより、瞬目率平均値は工事Aで最も小さく、空規制②で最も大きくなっている。また、瞬目率の大きさを走行経過に沿って見ると、工事Aで小さく、空規制①で上昇し、工事Bで一旦下降し、空規制②で再び上昇するという推移を示している被験者が多く確認できる。ここで、工事区間と空規制区間の瞬目率の平均値の差の検定(Wilcoxonの順位和検定)を行なったところ、工事A-空規制①間の有意確率が0.075となった。

表-2 区間別瞬目率平均値

	No.1	No.2	No.4	No.9	No.11	No.14	区間平均
工事A	1.648	1.643	2.254	1.679	2.015	1.853	1.849
空規制①	1.660	1.554	2.505	2.167	2.919	2.062	2.144
工事B	0.796	1.629	2.462	1.967	3.006	2.088	1.991
空規制②	1.860	2.002	2.503	3.234	1.764	1.887	2.208

上記の傾向を考慮し、覚醒水準の変動特性を把握するために、各被験者の30秒毎の瞬目率を算出し、その推移傾向を分析した。ここで、分析対象サンプルにおいて走行時間が30秒以上の場合には瞬目率のデータは時系列的に連続なデータとなるが、そのような連続データに当たる部分のみ移動平均を求めた。その結果、全体的に同様の傾向が見られたため、本稿ではその1例を示す。図-5に被験者No.11の瞬目率のkpを横軸とした散布図およびそれらの3項移動平均(図中各区間に描かれた曲線)を示す。なお、図中の破線は工事区間と空規制区間の境界を示す。

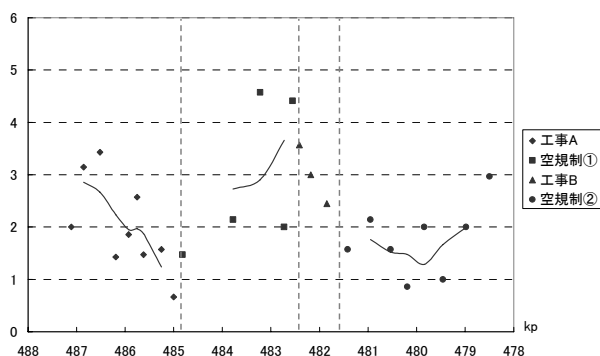


図-5 被験者 No.11 瞬目率散布図

この図から瞬目率は、空規制①では上昇傾向にあること

が分かる。また、空規制②でも空規制①ほど明確ではないが走行区間終端に向かうにつれて上昇する傾向が見られる。一方で、工事Aおよび工事Bではいずれも下降傾向にあることが分かる。

以上より、覚醒水準は空規制区間では低く、その推移は下降傾向にあり、工事区間では高く、推移は上昇傾向にあることが分かった。空規制区間では単調な走行環境により覚醒水準の低下を招き、一方で工事区間では多くの走行環境要素が混在しているため、それらから何らかの影響を受け、覚醒水準が上昇傾向を示した可能性が推測される。

(8) 覚醒水準と車両挙動との関連性分析

次に、実際に覚醒水準が低下した場合、車両挙動としてはどう現れるかを把握した。覚醒水準が低い場合は、漫然となり、適切なアクセル操作ができない¹¹⁾ことや運転中の反応時間が遅れる¹²⁾ために急な加減速挙動が多くなることが考えられる。そこで、覚醒水準が高い場合と低い場合における、加減速の状況を把握することとした。ここで、覚醒水準が高い場合を3. (4) でクラスタリングしたグループ1、低い場合をグループ2としてグループ間の加減速挙動を比較した。なお、本稿では加減速以外に、加減速なし(以下一定)という概念も加えて分析を行なった。加減速および一定に関しては以下のように定義したものをを用いた。

- ・加速(減速) : 1km/h以上の速度低下(上昇)を含まない、5km/h以上の速度上昇(低下)
- ・一定 : 上記の加速、減速挙動以外で、速度変化が5km/h未満の状態が30秒以上継続する場合
- ・加速 or 減速 or 一定率(%) : (加速 or 減速 or 一定挙動の継続時間) / (全走行時間)

表-3にグループ1, 2における加速率、減速率、一定率の平均とグループ1-2間における各指標の平均値の差の検定結果を示す。これから、グループ1とグループ2の間で加速率、減速率、一定率ともに統計的に有意差が生じていることが分かる。このことから、覚醒水準が低下すると、車両挙動として加減速が多くなり、安定した速度での走行が少なくなることが示された。

表-3 加速・減速・一定率の平均と平均値の差の検定結果

	加速率	減速率	一定率
グループ1	31.6	19.4	22.5
グループ2	44.9	26.0	4.13
グループ1-2間	加速率	減速率	一定率
有意確率	0.025**	0.015**	0.041**

注) Wilcoxonの順位和検定。

注) **: 有意水準5%で有意

4. 外在的前方不注視について

(1) 分析方針

外在的前方不注視については、脇見時間を指標に用いて分析を行った。なお、脇見とは前方以外に視線を向ける行為であり、脇見時間とは前方以外に視線を向け始め、再び前方へ視線を戻すまでの時間とした。

(2) 過度な脇見の抽出

4. (1) で定義した脇見の中には、周囲の状況確認や危険検知のためなど、安全運転上必要な挙動が多く含まれていることが予想される。本稿では中でも、必要以上に脇見をしていると見なせるものを「過度な脇見」と定義し、問題視する。ここでKatja Kircher¹³⁾は2秒以上の脇見は長く危険な状況であることを報告しており、本研究でもこの知見を援用し、2秒以上の脇見を「過度な脇見」とした。以降ではそれらに着目して分析を行った。

(3) 過度な脇見と工事規制区間走行環境との関連性分析

各区間における過度な脇見の特徴を把握するために、過度な脇見中の視線軌跡および注視時間に着目し分析を行った。ここで注視とは、眼球運動速度が10deg/s以下の状態が165ms以上続いたときとされており¹⁴⁾、本稿でもこの定義を適用した。

まず視線軌跡図を作成して特徴を把握したところ、全体的な傾向として区間によって視線軌跡に違いが見られた。図-6 にその一例を示す。なお、図中の直線が視線移動を、黒丸が注視を示す。これらの図から分かるように、工事Aでは過度な脇見中の注視点および視線が広い範囲に分布している。一方、空規制②では注視点および視線は狭い範囲に集中していることが分かる。

さらに、図-7 に工事A (図中A) および空規制② (図中②) における過度な脇見中の注視対象および注視時間を示す。この図の棒グラフ1本が1度の過度な脇見に相当する。これから、工事Aでは1度の脇見に短時間の注視対象が複数存在しており、空規制②では特定の対象を長時間注視していることが分かる。

以上より、工事Aでは複数の注視対象への視線移動の蓄積により、空規制②ではある対象への長い注視時間により過度な脇見となっていることが分かった。

5. まとめ

本研究では、現場走行実験のデータより工事規制区間における2種類の前方向不注視状況を捉え、走行環境、車両挙動との関連性を分析した。そして、覚醒水準に影響を及ぼす要因となり得るものとして追従状態を特定した。その下では、覚醒水準は空規制区間にて低下していること、また、覚醒水準が低下すると加減速が多くなることが知見として得られた。脇見については区間によって過度な脇見の特徴が違うという知見を得た。



図-6 視線軌跡図(左:工事A, 右:空規制②)

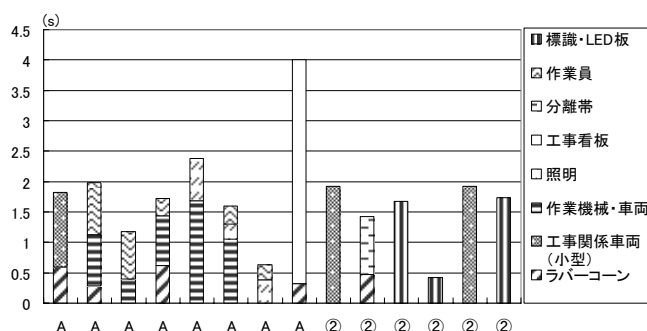


図-7 過度な脇見中の注視対象および注視時間

参考文献

- 1) 藤田素弘・雲林院康宏・杉浦裕幸・野田宏治：都市高速道路の集中工事に伴う道路ネットワークの交通状況と評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.21，2004.9
- 2) 高速道路技術センター：東名・名神高速道路集中工事のあり方に関する検討業務報告書
- 3) 飯田克弘・小川清香・高橋秀喜・和田謙一：高速道路工事車線規制中の車群挙動に関する考察，第26回交通工学研究発表会論文報告集，2006.10
- 4) 飯田克弘・東佳史・小川清香：高速道路工事規制区間における車群先頭車両の挙動に影響を及ぼす要因に関する検討，土木計画学研究・講演集，Vol.36，2007.11
- 5) 古賀浩樹・菅野寛政・深井靖史：首都高速3号渋谷線における集中工事時の交通容量分析，第27回交通工学研究発表会論文報告集，2007.10
- 6) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック，技報堂出版，1984.1
- 7) 荻坂直行（編者）：脳と意識，朝倉出版，1997
- 8) 平田輝満，屋井鉄雄，飯島雄一：都市内地下道路における意識水準低下に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.28，pp.VII(212)，2003.11
- 9) 石原利貞：自動車運転中の覚醒度の検出，自動車技術会学術講演会前刷集，951，No.9534405，1995
- 10) 中野倫明，杉山和彦，水野守倫，山本新：画像による瞬目計測と居眠り検知への応用，テレビジョン学会誌 Vol.50, No.12, pp1949-1956，1996
- 11) 宇野宏：覚醒水準低下の検知方法に関する一考察，自動車研究，Vol.25, no.8, pp17-20，2003.8
- 12) 増田智志，林和史，平田輝光，屋井鉄雄：地下道路における覚醒水準と運転挙動，土木計画学研究・講演集，Vol.36 Page.ROMBUNNO.151，2007.11
- 13) Katja Kircher：Driver disatration, A review of the literature, VTI rapport 594A
- 14) 福田亮子，佐久間美能留，中村悦男，福田忠彦：注視点の定義に関する実験的検討，人間工学，Vol.32, no.4, pp.197-204，1996